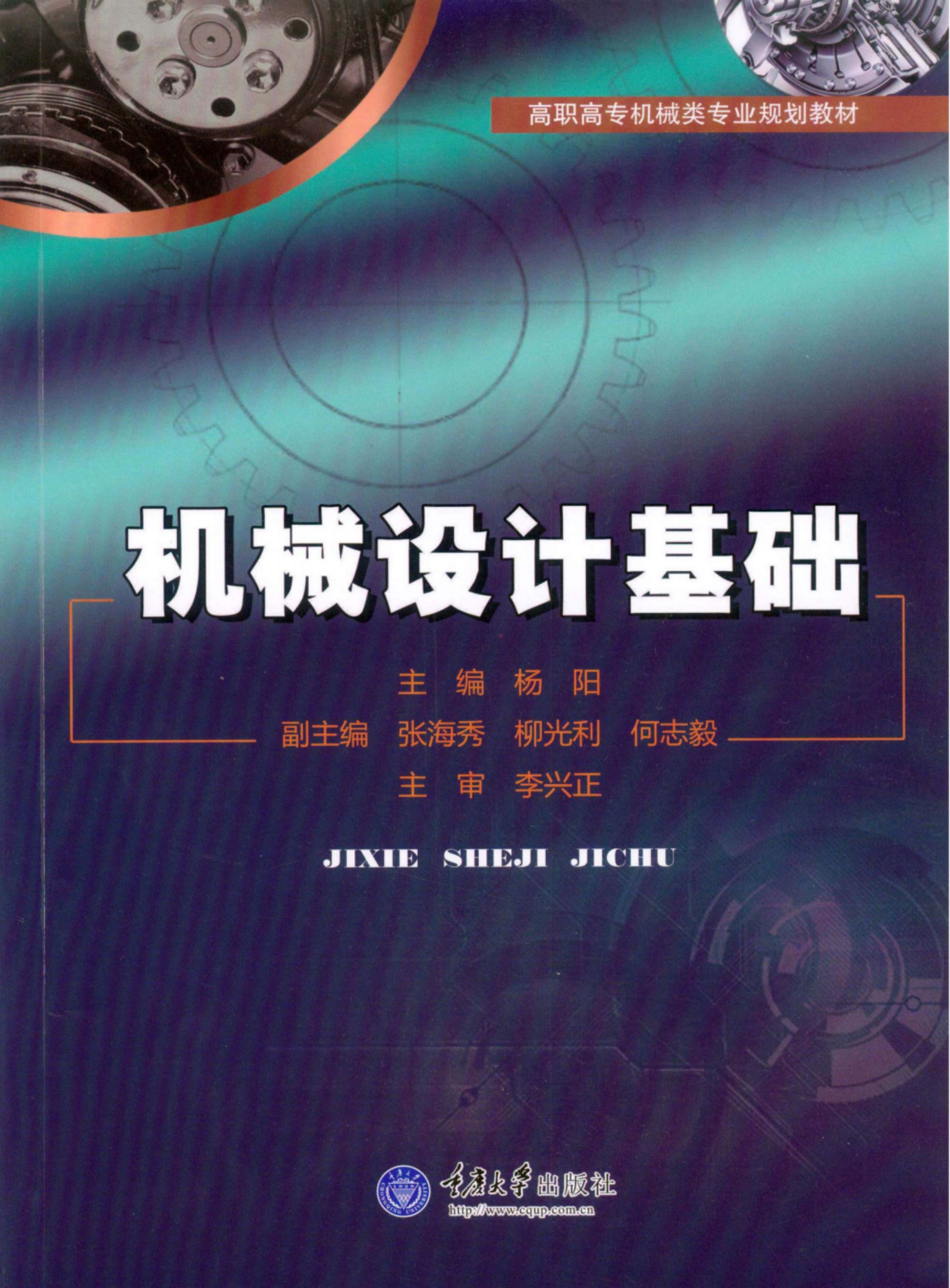




高职高专机械类专业规划教材

机械设计基础

主 编 杨 阳

副主编 张海秀 柳光利 何志毅

主 审 李兴正

JIXIE SHEJI JICHU



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

内容摘要

本书根据高等职业教育人才培养目标,结合编者多年的教学和企业工作经验编写而成。全书共 10 个教学章节,内容包括:绪论、平面机构的结构分析、平面连杆机构、凸轮机构、挠性传动、齿轮传动、轮泵、联接、轴、轴承。

本书内容丰富,理论阐释简明扼要,由浅入深,注重理论和实践相结合,注重技能培养。

本书可作为高职高专院校机械制造类专业学生用书,也可作为企业技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/杨阳主编. —重庆:重庆大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5689-0133-8

I. ①机… II. ①杨… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 206473 号

机械设计基础

主 编 杨 阳

副主编 张海秀 柳光利 何志毅

主 审 李兴正

策划编辑:周 立

责任编辑:李定群 版式设计:周 立

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:12.5 字数:312 千

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—2 000

ISBN 978-7-5689-0133-8 定价:30.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书根据教育部对普通高等学校机械设计基础课程教学基本要求和高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划等有关文件的精神,组织具有多年教学和生产实践工作经验的一线教师,结合当前高职高专学校办学实际编写而成。本书可作为高职高专院校机械类和近机械类各专业“机械设计基础”课程的教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书充分体现高职高专教育特点,突出理论联系实践。本着“易学、易用”的原则,强调对学生实际动手能力、创新能力和创新能力的培养,使学生充分掌握基本技术技能和必要的基本知识。

在本书的编写过程中,主要考虑了以下几个方面:

1. 重点突出,侧重应用。本书在编写的过程中,坚持“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,精选内容,突出重点,侧重应用。

2. 语言叙述简明扼要。本书在内容上叙述上通俗易懂,省略了一些公式的理论推导,直接阐述公式的物理意义和几何意义,直接切入主题,降低学生的学习难度。

3. 注重培养学生应用基本理论和技巧来分析、解决工程中实际问题的能力,培养学生查找有关手册的能力。

本书中采用的工程符号、专业术语、单位等均为国家最新标准和规范。

本书由重庆机电职业技术学院杨阳任主编。本书共分为 10 章,其中,第 1,2,3,4 章由杨阳老师编写,第 8,9 章由柳光利老师编写,第 6,7 章由张海秀老师编写,第 5,10 章由何志毅老师编写,全书由重庆机电职业技术学院李兴正教授任主审。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不足,恳求读者批评指正。

编 者
2016 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机械的组成概述	1
1.2 本课程的主要内容和任务	3
1.3 机械设计的基本要求及设计步骤	4
思考与练习	5
第 2 章 平面机构的结构分析	6
2.1 研究机构结构的目的	6
2.2 平面机构的组成	6
2.3 平面机构的运动简图	8
2.4 平面机构自由度的计算	11
思考与练习	15
第 3 章 平面连杆机构	16
3.1 平面连杆机构的类型	16
3.2 平面四杆机构存在曲柄的条件	21
3.3 平面四杆机构的工作特性	22
思考与练习	24
第 4 章 凸轮机构	26
4.1 凸轮机构的特点和类型	26
4.2 从动件常用运动规律	28
4.3 图解法设计盘形凸轮轮廓	32
4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	34
思考与练习	35
第 5 章 挠性传动	36
5.1 挠性传动的类型、特点及应用	36
5.2 带传动的工作情况	37
5.3 V 带与 V 带轮	42
5.4 带传动的设计计算	45

5.5 带传动的张紧、安装和维护	53
5.6 链传动的基本知识	55
思考与练习	57
第6章 齿轮传动	59
6.1 齿轮传动的类型及特点	59
6.2 渐开线的形成及啮合特性	60
6.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的结构名称和几何尺寸	62
6.4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	68
6.5 渐开线齿廓的切制原理与根切现象	74
6.6 齿轮传动的失效形式和设计准则	77
6.7 圆柱齿轮的常用材料及精度简介	79
6.8 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的设计计算	85
6.9 渐开线斜齿圆柱齿轮传动	91
6.10 圆锥齿轮传动简介	99
6.11 蜗轮蜗杆传动	99
6.12 齿轮的结构设计	107
6.13 齿轮传动的润滑	108
思考与练习	109
第7章 轮系	111
7.1 轮系的类型	111
7.2 定轴轮系传动比的计算	113
7.3 周转轮系传动比的计算	115
7.4 复合轮系传动比的计算	118
7.5 轮系的应用	120
思考与练习	123
第8章 联接	125
8.1 螺纹联接	125
8.2 轴毂联接	132
8.3 轴间联接	140
思考与练习	146
第9章 轴	147
9.1 概述	147

9.2 轴的结构设计·····	150
9.3 轴的工作能力计算·····	154
9.4 轴的使用与维护·····	158
思考与练习·····	159
第10章 轴承·····	161
10.1 滑动轴承·····	161
10.2 滚动轴承·····	167
10.3 滚动轴承的受力分析、失效形式和计算准则·····	174
10.4 滚动轴承的寿命及载荷的计算·····	176
10.5 滚动轴承的组合设计·····	185
思考与练习·····	189
参考文献·····	191

第 1 章

绪 论

1.1 机械的组成概述

人们为了满足生产和生活的需要,设计和创造了各种各样的机器,以便代替或减轻体力劳动、提高工作效率。使用机器的水平是衡量一个国家现代化程度的重要标志之一。

机器的种类繁多,它们的构造、用途和性能各不相同,但仔细分析,可以发现它们都有共同之处。

机械是机器和机构的总称。机械系统由驱动部分、传动部分和执行部分组成。驱动部分为机械提供运动和动力;传动部分传递运动和动力或变换运动形式;执行部分实现执行件按预定规律运动。如图 1.1 所示的牛头刨床,驱动部分(电动机)的转动经传动部分(皮带传动、齿轮 1,2 传动和一个导杆机构 2,3,4)转变为执行部分(滑枕 5)的往复直线运动,从而产生执行件刨刀的刨削运动。

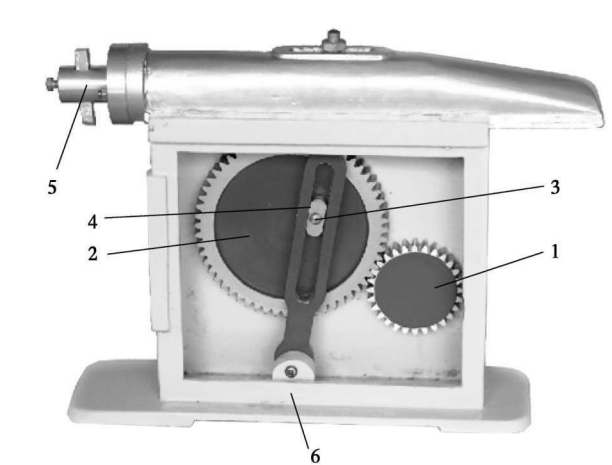


图 1.1 牛头刨床

1,2—齿轮;3—滑块;4—摇杆;5—滑枕;6—床身

如图 1.2 所示的单缸内燃机,它由活塞 1、连杆 2、曲轴 3、机架 4、凸轮 5、推杆 6、气阀 7、大齿轮 8 及小齿轮 9 组成。当燃气推动活塞 1 作往复移动时,通过连杆 2 使曲轴 3 作连续转动,从而将燃气燃烧的热能转换为曲轴转动的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时开闭阀门以吸入燃气和排出废气。这种内燃机可视为以下 3 种机构的组合:

①曲柄滑块机构,由活塞 1、连杆 2、曲轴 3 及机架 4 构成,作用是将活塞的往复移动转换为曲柄的连续转动。

②齿轮机构,由齿轮 8,9 和机架 4 构成,作用是改变转速的大小和转动的方向。

③凸轮机构,由凸轮 5、推杆 6 和机架 1 构成,作用是将凸轮的连续转动转变为推杆有规律的间歇往复移动。

由上述的机器工作原理及组成机构分析可知,机器的主要特征如下:

①它们都是人为实体(构件)的组合。

②各个实物之间具有确定的相对运动。

③能够实现能量的转换或完成有用的机械功。

机构是由构件组成的。所谓构件,是指机构的基本运动单元。它可以是单一的零件,也可以是由几个零件联接而成的运动单元。而零件是组成机器的最小制造单元。

零件是机械制造的最小单元,如齿轮、螺钉、轴等。一般来说,机械零件分为两大类:通用零件和专用零件。通用零件是指各种机器中经常用到的零件,如螺栓、齿轮等;专用零件只出现在一些特定类型的机械中,如涡轮机的叶片、飞机的螺旋桨等。

构件是机构运动的最小单元。它可由一个或者多个零件组成。如图 1.3 所示的连杆就是由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3,4,螺栓 5 及螺母 6 等零件组成的一个构件。

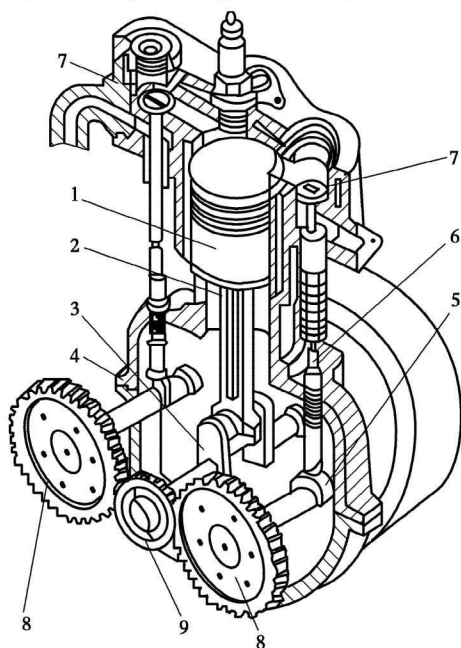


图 1.2 单缸内燃机

1—活塞;2—连杆;3—曲轴;4—机架;5—凸轮;
6—推杆;7—气阀 8—大齿轮;9—小齿轮

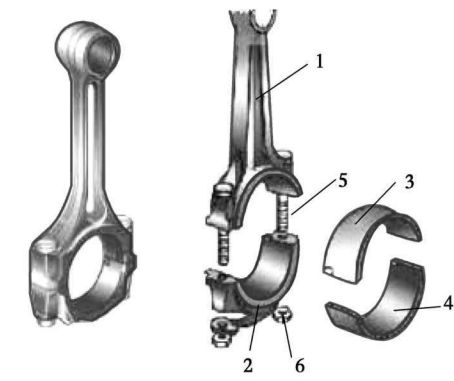


图 1.3 连杆结构图

1—连杆体;2—连杆盖;3,4—轴瓦;
5—螺栓;6—螺母

如图 1.4 所示的齿轮机构,其运动特点是把高速转动变为低速转动或者相反。如图 1.5 所示的连杆机构,能实现转动、摆动等运动形式的相互转换。

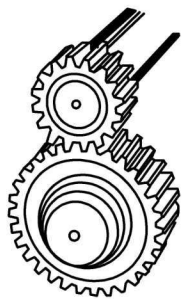


图 1.4 齿轮机构

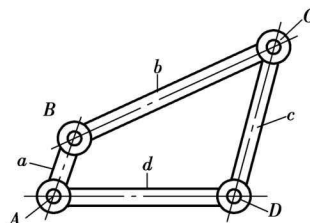


图 1.5 连杆机构

由以上实例分析可以看出,机器是由各种机构组成的,可完成能量的转换或做有用功;而机构则仅仅是起着运动的传递和运动形式的转换作用。机构的主要特征如下:

- ①它们都是由构件组成的。
- ②各个构件之间具有确定的相对运动。

从结构和运动的观点来看,机器和机构两者之间没有区别。因此,习惯上用机械一词作为它们的总称。本课程研究的对象是机械中常用机构和通用零件。

1.2 本课程的主要内容和任务

1.2.1 本课程的主要内容

本课程作为机械设计的基础,是一门综合性较强的技术基础课程。它主要介绍机械中常用机构的工作原理、运动特性、通用机械零件的设计和计算方法以及有关标准和规范。

本课程研究的内容大体可分为以下 5 个部分:

- ①机构的运动简图和自由度计算。
- ②平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等的组成原理、运动分析及设计。
- ③各种联接零件(如螺纹联接、键销联接等)的设计计算方法和标准选择。
- ④各种传动零件(如带传动、齿轮传动等)的设计计算和参数选择。
- ⑤轴系零件(如轴、轴承等)的设计计算及轴承参数和类型选择。

1.2.2 本课程的主要任务

学习本课程不但可使学生掌握机械设计的基本理论、基本知识和基本技能,而且还可为以后有关专业课程的学习打下必要的理论基础。以此,这是一门在教学中起着承上启下作用的课程。

通过本课程的学习,使学生应达到以下要求:

- ①掌握通用机械零件的工作原理、特点、选用及计算方法,具有初步分析失效原因和提高

改进措施的能力。

- ②培养学生树立正确的设计思想,具有设计简单机械传动部件和简单机械的能力。
- ③学会使用手册、标准、规范等设计资料。
- ④具有维护、管理和使用机械设备的基本常识。

1.3 机械设计的基本要求及设计步骤

1.3.1 机械设计的基本要求

尽管机械的种类繁多,用途、结构和性能各不相同,但设计的基本要求大致相同。其基本要求如下:

(1) 满足使用性能要求

材料的使用性能是指零件在工作条件下,材料应具有力学性能、物理性能以及化学性能。对机械零件而言,最重要的是力学性能。

零件的使用条件包括3个方面:受力状况(如载荷类型、大小、形式及特点等)、环境状况(如温度特性、环境介质等)、特殊要求(如导电性、导热性和热膨胀等)。

(2) 有良好的工艺和经济性要求

在满足使用要求的前提下,还要使机械结构简单、加工容易、便于维护,即具有良好的加工工艺性和装配工艺性。这样,就可降低机械设计和制造的成本,使产品质优价廉,具有较强的市场竞争力。

(3) 通用性要求

通用性要求即满足标准化、通用化、系列化的要求。我国现行的标准分为国家标准(GB)、专业标准和行业标准。现在我国已经加入世界贸易组织,在设计中尽可能采用国际ISO统一标准,为以后产品打入国际市场创造良好的条件。

1.3.2 机械设计的一般步骤

设计一种新的机械产品是一项复杂细致的工作,要提供性能好、质量高、成本低、竞争能力强的、受用户欢迎的新机械产品,必须有一套科学的工作程序。一般如下:

(1) 制订任务书

首先应根据用户的需要和要求,确定所要设计机械的功能和有关指标,研究分析其实现的可能性,然后确定设计课题、制订产品设计任务书。

(2) 总体方案设计

根据设计任务书,拟订出总体设计方案,进行运动和动力分析,从工作原理上论证任务的可行性。必要时,对某些技术经济指标作适当修改,然后绘制结构简图。

(3) 技术设计

在总体方案设计的基础上,确定机械各部分的结构和尺寸,绘制总装配图、部件装配图和零件图。为此,必须对所有零件进行结构设计(标准件合理选择),并对主要零件的工作能力

进行计算,完成机械零件设计。

机械零件的设计常按以下步骤进行:

- ①根据零件的使用要求,选择零件的类型和结构。
- ②拟订零件的计算简图,计算作用在零件上的载荷。
- ③根据零件的工作条件,选择适当的材料和热处理方法。
- ④根据零件可能的失效形式,确定计算准则;根据计算准则进行计算,确定出零件的基本尺寸。
- ⑤根据工艺性和标准化等原则,进行零件的结构设计。
- ⑥绘制零件工作图,写出说明书。

(4) 样机的试制和鉴定

设计的机械是不是能满足预定的功能要求,需要进行样机的试制和鉴定。样机试制后,可通过生产运行,进行性能测试。最后便可组织鉴定,进行全面的技术评价。

思考与练习

1. 机器与机构有何区别? 构件与零件又有何区别?
2. 机械设计的基本要求有哪些?
3. 机械零件的一般设计步骤是怎样的?
4. 通过本课程学习,学生应达到哪些要求?

第 2 章

平面机构的结构分析

2.1 研究机构结构的目的

机构是由两个以上具有确定相对运动的构件组成的。若组成机构的所有构件都在同一平面或平行平面中运动,则称该机构为平面机构。

在进行新机构设计时,首先应判断机构能否运动;如果能运动,则还要判断运动是否具有确定性,以及具有确定运动的条件。

现今使用的机构类型很多,其形式和具体结构也是多种多样。组成机构的构件,其外表和构造更是种类繁多,所以要搞清楚各种机械的工作原理,以便对其进行改造,尤其是要创造新的机械就必须对机械结构进行研究。因此,机构结构分析的目的主要有以下 3 个方面:

- ①为新机构的创造提供途径。分析机构怎样由构件组成的,而且在何种条件下才具有确定运动的条件。
- ②将各种机构按结构进行分类,在此基础上建立运动分析和受力分析的一般方法。
- ③根据构件间联接的特点及与运动有关的尺寸,画出机构的运动简图。

2.2 平面机构的组成

2.2.1 运动副的概念

两构件之间直接接触并能产生一定相对运动的联接称为运动副,如轴与轴承、活塞与缸体、车轮与钢轨以及一对轮齿啮合形成的联接,都构成了运动副。构件上参与接触的点、线、面,称为运动副元素。

2.2.2 平面运动副的分类

按两构件间接触性质不同,平面运动副通常可分为低副和高副。

(1) 低副

两构件形成面与面接触的运动副,称为低副。

1) 转动副

若组成运动副的两构件只能在一个平面内相对转动,则称为转动副,也称为铰链。如两构件中有一个构件不动,则称为固定铰链;两构件都能转动,则称为活动铰链。如图 2.1(a) 所示为固定铰链,如图 2.1(b) 所示为活动铰链。为了便于转动副的绘制,其简图可用如图 2.2 所示的图形表示。

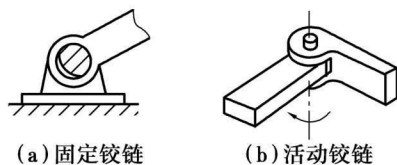


图 2.1 转动副

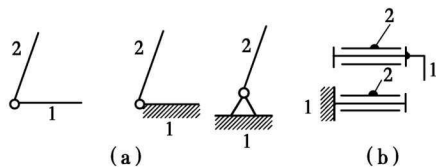


图 2.2 转动副简图

2) 移动副

若组成运动副的两个构件只能沿轴线相对移动,则称为移动副,如图 2.3 所示。其简图可用如图 2.4 所示的图形表示。

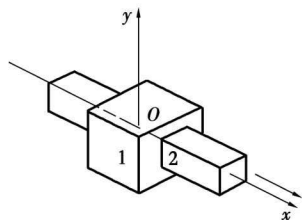


图 2.3 移动副

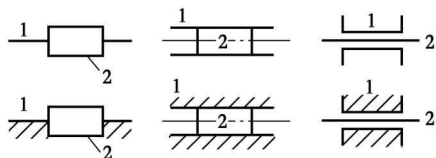


图 2.4 移动副简图

由于低副是面接触,在承受载荷时压强较低,便于润滑,故磨损较轻。

(2) 高副

两构件以点或线的形式相接触而组成的运动副,称为高副。如图 2.5(a) 所示的齿轮副,如图 2.5(b) 所示的凸轮副,都是高副,它们的共同点是构件 1 可以相对构件 2 绕接触点 A 转动,又可沿接触点的切线 $t-t$ 方向移动,而只有沿公法线 $n-n$ 方向的运动受到限制。因此,一个高副引入一个约束,即减少一个自由度。在高副的绘制中,通常应绘出高副的大致形状。

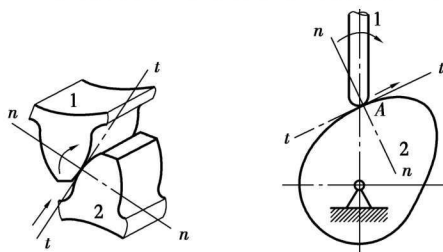


图 2.5 高副

由于高副是以点或线的形式相接触,其接触部分的压强较高,故易磨损。

2.3 平面机构的运动简图

2.3.1 机构运动简图的概念

在研究机构运动特性时,为使问题简化,可不考虑构件和运动副的实际结构,只考虑与运动有关的构件数目、运动副类型及相对位置。用规定的线条和符号表示构件和运动副,并按一定的比例确定运动副的相对位置及与运动有关的尺寸。这种表明机构的组成和各构件间运动关系的简单图形,称为机构运动简图。

不严格按比例绘制的机构运动简图,称为机构示意图。

2.3.2 机构的组成

机构中的构件有以下3类:

(1) 机架

机构中固定不动的构件,称为机架(或固定构件)。它是用来支承其他活动的构件。在绘制机构运动简图时,在构件边用斜线来标记机架。

(2) 原动件

按给定的运动规律独立运动的构件,称为原动件。它一般与机架相联。在绘制机构运动简图时,原动件上必须用带箭头的圆弧或直线标注其运动形式。

(3) 从动件

机构中其他活动构件,称为从动件。从动件的运动规律取决于原动件的运动规律及运动副的结构和构件尺寸。

任何机构中,必须有一个构件是作为机架,另外一个或者几个构件是作为原动件,其余的构件都是从动件。

2.3.3 平面机构的表示方法

(1) 运动副的表示方法

1) 转动副

转动副的表示方法如图2.6所示。圆圈用来表示转动副,圆心代表相对转动轴线。若组成转动副的两个构件都是活动的,则用图2.6(a)表示;若其中有一个不活动(机架),则在不活动的构件上加上斜线,如图2.6(b)、(c)所示。

2) 移动副

两构件组成移动副的表示方法如图2.7所示。移动副的导路必须与相对移动方向一致。

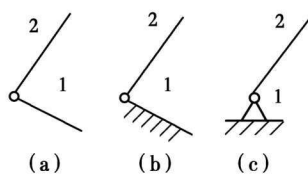


图 2.6 转动副的表示方式

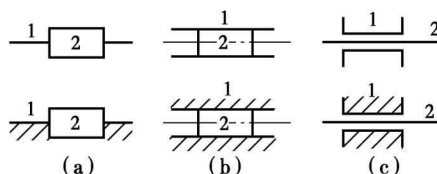


图 2.7 移动副的表示方法

3) 平面高副

画高副时,应将接触部分的外形画出。对于凸轮、滚子,习惯上画出其全部轮廓,如图 2.8 所示。

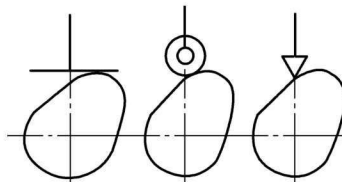


图 2.8 凸轮副的表示方法

对于齿轮,常用点画线画出其节圆,如图 2.9 所示。

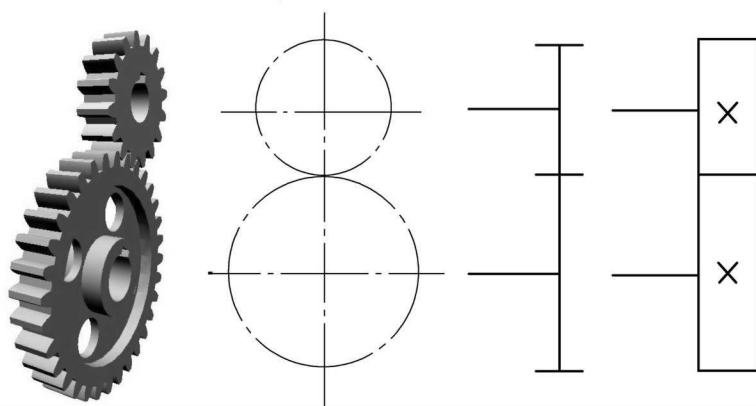


图 2.9 凸轮副的表示方法

(2) 构件的表示方法

构件的表示方法如图 2.10 所示。构件可用直线、三角形或者方块等图形表示。图 2.10 (a) 表示参与组成两个转动副的构件;图 2.10 (b)、(c) 表示参与组成 3 个转动副的构件,它一般用三角形表示,在三角形内加剖面线或者在三角形内角涂上焊缝标记,表示三角形为一个构件;若 3 个转动副在同一直线上,则可用跨越半圆符号来连接直线,如图 2.10 (d) 所示;图 2.10 (e)、(f) 表示参与组成一个转动副和一个移动副的构件。

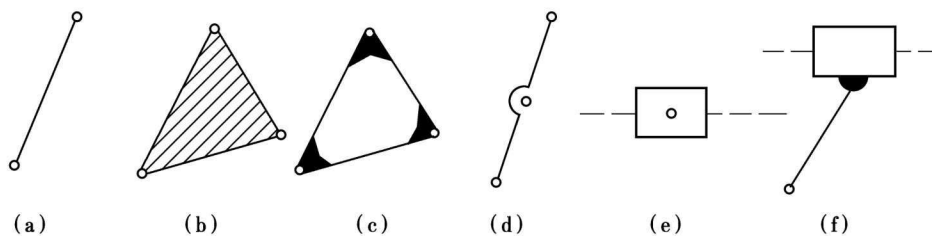


图 2.10 构件的表示方法

2.3.4 平面机构运动简图的绘制

绘制平面机构运动简图时,首先要观察和分析机构的构造和运动情况,要明确 3 类构件:固定构件(即机架)——机构中支承活动构件的构件,任何一个机构中必定有一个构件为机架;原动件——机构中作用有驱动力(力矩)或已知运动规律的构件,一般与机架相联;从动

件——机构中除了原动件以外的所有活动构件。其次,还需弄清楚该机构由多少个构件组成,各构件间组成运动副的类型,然后按规定的符号和一定的比例尺绘图。

具体可按以下步骤进行:

- ①分析机构的组成,确定机架、原动件和从动件。
- ②由原动件开始,依次分析构件间的相对运动形式,确定运动副的类型和数目。
- ③选择适当的视图平面和原动件位置,以便清楚地表达各构件间的运动关系。通常选择与构件运动平面平行的平面作为投影面。

④选择适当的比例尺 $\mu_1 = \frac{\text{构件实际长度}}{\text{构件图样长度}}$ (单位:m/mm 或 mm/mm), 根据各运动副间实际距离和相对位置尺寸,计算出图样长度,按图样长度以规定的线条和符号绘图。

常用构件和运动副的简图符号见表 2.1。

表 2.1 机构运动简图符号

名 称		简图符号	名 称		简图符号
构件	轴,杆		机架	机架	
	三副元素 构件			机架是转动 副的一部分	
	构件的 永久连续			机架是移动 副的一部分	
平面 组副	转动副		平面 高副	齿轮副 外啮合	
	移动副			内啮合	

例 2.1 绘制如图 2.11(a) 所示的颞式破碎机主体机构的运动简图。

解 1) 由图 2.11 可知,颞式破碎机主体机构由机架 1、偏心轴 2(见图 2.11(b))、动颞 3 及肘板 4 组成。机构运动由带轮 5 输入,而带轮 5 与偏心轴 2 固连成一体(属于同一构件),绕转动中心 A 转动,故偏心轴 2 为原动件。动颞 3 和肘板 4 为从动件,动颞 3 通过肘板 4 与机架相连,并在偏心轴 2 带动下作平面运动将矿石打碎,故动颞 3 和肘板 4 为从动件。

2) 偏心轴 2 与机架 1、偏心轴 2 与动颞 3、动颞 3 与肘板 4、肘板 4 与机架 1 均构成转动副,其转动中心分别为 A、B、C、D。

选择构件的运动平面为视图平面,如图 2.12 所示的机构运动瞬时位置为原动件位置。

根据实际机构尺寸及图样大小选定比例尺 μ_1 。根据已知运动尺寸 $L_{AB}, L_{DA}, L_{BC}, L_{CD}$ 依次确定各转动副 A、B、D、C 的位置,画上代表转动副的符号,并用线段连接 A、B、C、D。用数字标注构件号,并在构件 1 上标注表示原动件的箭头,如图 2.12 所示。

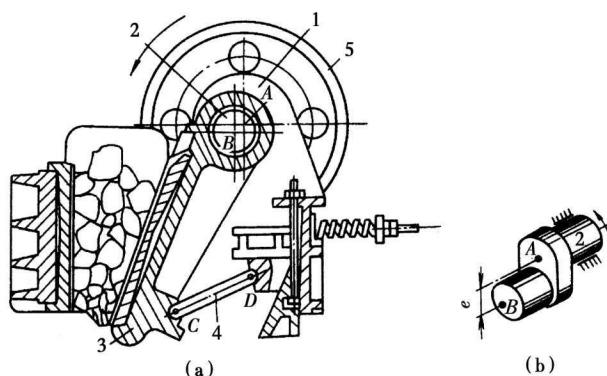


图 2.11 颞式破碎机主体机构

1—机架;2—偏心轴;3—动颞;4—肘板;5—带轮

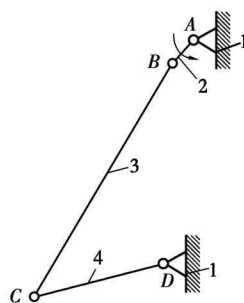
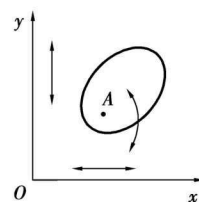


图 2.12 颞式破碎机主体机构运动简图

2.4 平面机构自由度的计算

2.4.1 构件的自由度

运动构件相对于参考系所具有的独立运动的数目,称为构件的自由度。任一作平面运动的自由构件有 3 个独立的运动。如图 2.13 所示, xOy 坐标系中的构件可沿 x 轴和 y 轴移动,也可在 xOy 平面内转动,因此,作平面运动的自由构件有 3 个自由度。



2.4.2 构件的约束

当两构件组成运动副后,它们之间的某些相对运动受到限制,对于相对运动所加的限制称为约束。每加上一个约束,自由构件便失去一个自由度。运动副的约束数目和约束特点取决于运动副是低副还是高副,每个低副增加两个约束,使构件失去两个自由度;每个高副增加一个约束,使构件失去一个自由度。

图 2.13 平面运动构件的自由度

2.4.3 构件系统自由度的计算

(1) 平面机构自由度计算公式

设一个平面机构由 N 个构件组成,其中必有一个构件为机架,则活动构件数为 $n = N - 1$ 。

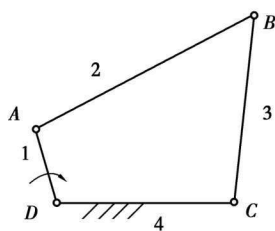


图 2.14 机构

它们在未组成运动副之前,共有 $3n$ 个自由度。若机构中有 P_L 个低副、 P_H 个高副,而一个低副引入两个约束,一个高副引入一个约束,每引入一个约束,构件就失去一个自由度,则平面机构的自由度 F 的计算公式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (2.1)$$

例 2.2 试计算如图 2.14 所示机构的自由度。

解 在如图 2.14 所示的机构中,共有 3 个活动构件 1,2,3,